

## Общин вопросы технологи обогащения

УДК

**И.П. КУРЧЕНКО, А.А. ЗОЛОТКО** кандидаты техн. наук  
Институт "УкрНИИуглеобогащение"

### СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ОБОГАЩЕНИЯ УГЛЕЙ В УКРАИНЕ

В условиях острого дефицита топливно-энергетических ресурсов, сложившегося в последнее десятилетие в Украине, где главный энергоноситель – уголь, особую значимость приобретают два фактора: количества и качества.

*Фактор количества* – вытекает из недостаточных объемов добываемых углей, которые за три последних года стабилизировались на уровне 80 млн т при сокращении количества действующих шахт со 190 до 170. На этом фоне все большее внимание привлекают некапиталоемкие пути увеличения объема углей это их рациональное распределение по направлениям использования, всемерное сокращение потерь при перевозках, обогащении и потреблении, вовлечение в полезную продукцию топливного остатка, потерянного ранее в отходах обогащения и забалансовых шламах (илах) из-за несовершенства технологии и методов хозяйствования.

*Фактор качества* – в условиях формирования рыночных отношений выступает как критерий потребительной ценности угольного топлива и компонента коксового производства, перевозок и ограничения загрязняющих выбросов в атмосферу с газообразными продуктами горения и зольными уносами, масса которых пропорциональна зольности сжигаемого топлива.

Оба фактора непосредственное отношение к углеобогащению, которое является особенно ответственным звеном угольного производства в нынешних условиях.

В настоящее время в Украине имеется 61 углеобогащательная фабрика с суммарной годовой производственной мощностью 147,8 млн т. Непосредственно в составе Минтопэнерго находится 43 фабрики с установленной мощностью 92,6 млн т. Четыре ("Суходольская", "Сердитянская", "Маяк", "Снежнянская") из них, составляющие 10,4% по мощности, практически не работают из-за неудовлетворительного технического состояния, отсутствия рядовых углей и др.. Растет ежегодно, что уже составило 16 единиц суммарной мощностью 46,55 млн т, количество фабрик, перешедших в аренду к различным коммерческим и хозяйственным структурам. Две фабрики общей мощностью 8,7 млн т работают в составе Авдеевского и Макеевского КХЗ.

Обогащательные фабрики построены в различные периоды (табл. 1) и находятся в эксплуатации от 19 до 73 лет с преобладанием "возраста" 25-50 лет (среднее – 44 года). Их технология отражает тенденцию соответствующего периода, но принципиальные отличия сводятся только к специфике схем переработки конкретного сырья.

Так, все фабрики, обогащающие угли для коксования, имеют глубину обогащения 0 мм и применяют флотацию для обогащения шлама. Крупный уголь обогащается на фабриках строительства до 1960 года, как правило, в отсадочных машинах или в сочетании тяжелых сред (классы крупнее 13 мм) и отсадки (класса 0,5-13 мм).

Энергетические угли и антрациты обогащаются на фабриках строительства после 60-х годов и, в принципе, по той же технологии. Более "старые" фабрики предусматривают выделение необогащенного сухого отсева (0-6 или 0-13 мм), а для обогащения крупных классов применяют отсадку, тяжелые среды или их сочетание. Такие схемы наиболее

характерны для обогатительных фабрик, построенных как "желобные мойки" и впоследствии переоснащенных с заменой моечных желобов более современными аппаратами.

В результате многолетних работ по совершенствованию технологии обогащения и техническому переоснащению фабрик сложилось следующее соотношение методов обогащения:

тяжелые среды	–	19,0
отсадка	–	71,3
флотация	–	9,0
циклоны и др.	–	0,7% от общего объема обогащения угля.

Это отвечает в целом мировым тенденциям. Отличие составляет лишь пониженный удельный вес применения тяжелосредних циклонов по сравнению, например, с Австралией, ЮАР и США.

По производственной мощности в Украине преобладают фабрики, рассчитанные на переработку от 1,5 до 3,0 млн т (средняя мощность 2,42 млн т), а также групповые фабрики, технологически связанные с близрасположенной шахтой и имеющие углеприем для привозных углей. Индивидуальные фабрики ("Трудовская", "Привольнянская", им. Челюскинцев, "Пионер") сохранялись лишь как исключение – для переработки угля только одной шахты, на промплощадке которой они расположены.

Центральные обогатительные фабрики относятся к типу наиболее крупных и сооружены преимущественно в районах сосредоточения угледобывающих предприятий ("Чумаковская", "Дуванская", "Павлоградская" и др.) или реже – на маршрутах вывоза товарной продукции (например, "Комендантская", "Червоноградская"). Непосредственно у потребителя расположены лишь фабрики при КХЗ. Этим обеспечивается некоторое сокращение объема грузоперевозок, хотя сейчас на практике условие минимизации грузопотоков нередко нарушается.

Одним из принципиальных вопросов в организации работы углеобогатительных фабрик является их хозяйственная принадлежность. Опыт социалистической системы с централизованным планированием однозначно свидетельствовал об объединении фабрик в специализированные структуры. Последующий период характеризуется переходом на обогащение "давальческого" сырья, а затем накоплением опыта работы фабрик в различных сочетаниях с добывающими предприятиями: в едином хозяйственном комплексе с шахтой, в подчинении производственным объединениям по добыче углей, в специализированных объединениях, в статусе полностью самостоятельных предприятий, в аренде коммерческих структур и т.д. Это позволило сделать вывод, что, по крайней мере, в условиях рыночной экономики для успешного функционирования углеобогатительной фабрики определяющее значение имеет не формальная ее хозяйственная подчиненность, а подход управляющей структуры к обеспечению жизненно важных для фабрики условий: стабильная загрузка ее углем надлежащего качества, постоянство состава и уровня квалификации рабочего персонала, удовлетворительное технологическое состояние производства и его своевременное обновление, рациональное использование рыночной конъюнктуры.

При этом в государстве должна вырабатываться и внедряться единая техническая политика применительно ко всем формам хозяйствования в углеобогащении. Очевидно, это должно быть прерогативой Минтопэнерго, а точнее, его угольного департамента, при участии отраслевой науки.

Для оценки эффективности работы углеобогатительных фабрик Украины в табл. 2 приведены

их основные качественно-количественные характеристики.

Так, добытые угли были охвачены переработкой на фабриках на 91%. Без обогащения отгружено на потребление 7,3 млн т энергетических углей. При этом производственные мощности фабрик были использованы на 49,8%, в том числе фабрик Минтопэнерго на 51,4%.

Анализом установлено, что степень загрузки фабрики – один из критериев уровня затрат на обогащение.

Минимальные затраты обеспечиваются при стопроцентной загрузке фабрики по мощности и составляют, в среднем, для различной глубины обогащения:

13 мм	–	от 4 до 5,5 грн/т,
6	–	от 5 до 7
0 и 0,5	–	от 8 до 12.

В рассматриваемый период на обогатительных фабриках Минтопэнерго производственные мощности были загружены от 6,9 (ГОФ "Горская") до 150,1% (ГОФ "Вахрушевская") и затраты на обогащение тонны угля колебались в пределах от 4,31 (ГОФ "Краснопартизанская") до 28,22 грн/т (ЦОФ "Дуванская").

Из этого следует, что упорядочение загрузки углеобогатительных фабрик рядовыми углями и сокращение количества эксплуатируемых предприятий за счет исключения технически бесперспективных фабрик позволяет существенно влиять как на процесс концентрации производства, так и на удешевление себестоимости обогащения угля.

Наглядным технологическим показателем эффективности обогащения угля является снижение зольности, которое соответствует (табл. 2):

по коксующимся углям	–	29,0
энергетическим углям	–	20,2
антрацитам	–	17,9% абс.

Фактически в 2002 г. фабриками Минтопэнерго на энергетику было отгружено топливо зольностью, суммарно, 24,7%, на коксование – 8,2% без учета поставки вторичных топливных продуктов (забалансовых шламов) и продуктов обогащения с арендных фабрик.

Эффективность обогащения угля характеризуется также полнотой извлечения топливных компонентов в полезный товарный продукт. Косвенно это можно показать через зольность отходов обогащения. Тенденция ее повышения выражена весьма слабо. Так, в 2002 году суммарная зольность отходов обогащения на фабриках Минтопэнерго составила 73,8%, тогда как для углей Донецкого бассейна зольность чистых породных фракций достигает 78-80%. Поэтому при повсеместном повышении зольности отходов, в среднем, до 76% можно дополнительно получить товарного топлива до 960 тыс. т с зольностью 16,4%.

Для полноты оценки работы углеобогатительных фабрик было бы желательно рассмотреть показатели рентабельности их работы. Однако к этому имеются два препятствия. Во-первых, показатели реализации товарной продукции и прибыли от нее составляют коммерческую тайну шахт-поставщиков "давальческого" сырья и в открытых источниках не освещается. Во-вторых, из-за отмены в 2002 г. преysкуранта базовых цен на угольную продукцию утеряна возможность объективно оценить стоимость товарных продуктов обогащения исходя из их объема и зольности.

В то же время, в силу несовершенства действовавших преysкурантов, в отдельных случаях обосновывалась кажущаяся выгодность отправки на теплоэнергетическое потребление необогащенных углей в увеличенном объеме без учета экологических,

транспортных факторов и эффективности использования топлива потребителем.

Ведутся поиски создания усовершенствованных методов оценки стоимости угля и продуктов его обогащения с использованием показателей зольности или теплоты сгорания. Отдельную проблему при этом составляет определение цены углесодержащих отходов и забалансовых шламов, особенно с учетом повышенного интереса к их вовлечению в товарные ресурсы.

Из вышеизложенного вытекает ряд актуальных проблем, решение которых обеспечит создание базы для формирования эффективно действующей системы управления углеобогащением на уровне современных научно-технических и рыночных требований.

### *Проблема рационального использования производственных мощностей углеобогажительных фабрик.*

Ее решение требует, во-первых, упорядочения состава действующих фабрик с прекращением эксплуатации технически бесперспективных, не обеспечиваемых на перспективу ресурсами рядовых углей. Во-вторых, необходима полная загрузка мощностей с совершенной технологией как для увеличения охвата переработкой всех классов крупности углей и антрацитов (ликвидации необогащенных отсеков), так и для снижения удельных затрат на обогащение. В-третьих, рядовые угли между фабриками должны распределяться по оптимизационному принципу, учитывающему:

- совместимость углей разных шахт для обогащения в одном режиме;
- соответствие технологии обогащения данной фабрики требованиям к товарной продукции;
- минимальный перепробег грузопотоков "шахта-фабрика" и отсутствие встречных перевозок.

Расчетами установлена целесообразность сосредоточения переработки коксующихся углей на 11 фабриках Минтопэнерго, энергетических – на 12, антрацитов – на 14 с увеличением степени их загрузки при нынешнем объеме добычи до 68%, в перспективе до 100%, сохранить при этом в эксплуатации арендные фабрики и фабрики при КХЗ.

### *Проблема увеличения товарных ресурсов углей*

Применительно к обогащению углей реальны два пути ее решения: сокращение до допустимого минимума потерь горючей массы с отходами обогащения и вовлечение в товарное потребление углесодержащих отходов, хранящихся в илонакопителях и породных отвалах.

Как отмечалось, на обогатительных фабриках из-за несовершенства технологии и нестабильности режимов обогащения, высокой степени износа оборудования, неупорядоченности сырьевых баз и других неблагоприятных факторов ежегодно теряется с отходами до 960 тыс. тонн угля, из которых доступными техническими средствами без существенных капитальных затрат фабриками ("Дзержинская", "Самсоновская", "Дуванская", "Красная Звезда", "Пролетарская", "Краснолиманская", "Колосниковская", "Антрацит", "Нагольчанская") может быть получено порядка 570 тыс. т кондиционного угля.

Минтопэнерго в 2003 г. утверждена "Методика нормирования потерь угля с отходами углеобогажительных фабрик" как руководящий документ для объективной оценки фактических потерь горючей массы с отходами и установления нормативно-допустимого уровня остаточного содержания угля в отходах, неизбежного при применении той или иной технологии обогащения.

Вторым реальным источником дополнительного извлечения топлива являются углесодержащие отходы и забалансовые шламы, пригодные для переработки по

относительно несложной технологии в товарную угольную продукцию.

На углеобогащительных фабриках Украины в настоящее время имеется 39 илонакопителей и 47 отстойников, содержащих 117 млн т обводненных углеотходов зольностью, в среднем, 56,8% (без фабрик при КХЗ). Из них находятся в отработке 22 объекта с ежегодной отгрузкой более 2,5 млн т товарного топлива. По расчетным оценкам поведение работ этого направления позволит увеличить объем производства вторичного топлива, извлекаемого из илонакопителей, на 1,2-1,5 млн т в год.

Технологический процесс извлечения топлива из жидких углеотходов может осуществляться как на отдельно стоящих установках (по типу фабрик "Калининская", "Суходольская", "Свердловская", "Краснолиманская", "Дзержинская"), так и в действующих схемах фабрик при их несложном дооснащении (по типу фабрик "Нагольчанская", "Белореченская", "Комендантская"), что экономически предпочтительнее, особенно при недогрузке фабрик рядовым углем.

Топливо нынче из породных отвалов извлекается в ограниченных количествах, в основном, коммерческими структурами. Систематизированные данные об объемах производства и применяемых технологиях отсутствуют. Нет также достоверных сведений о ресурсах топливного остатка, пригодного для извлечения из породных отвалов, об их физическом состоянии (горение, механическая устойчивость и т.д.).

### *Проблема повышения качества угольной продукции*

Применительно к коксующимся углям проблема качества концентратов затрагивает их марочную принадлежность, зольность, влажность и содержание серы. Обогащению поддается лишь зольность, которая, за исключением отдельных фабрик, вкладывается в требования, выдерживаемые коксохимическим производством.

При обогащении энергетических углей и антрацитов повышенная зольность топлива, отгружаемого на тепловые электростанции, обусловлена недостаточными объемами обогащения мелких классов. На фабриках угольной промышленности в год выделяется более 3,6 млн т необогащенного штыба и отсева зольностью 27,7%. Кроме того, 7,3 млн т энергетических углей отгружается потребителям без обогащения с зольностью 27,8%, в то время как производственные мощности фабрик задействованы менее чем наполовину. Для снижения зольности отсевов и штыбов разработаны несложные технологические схемы обработки мелких классов, обеспечивающие понижение зольности до 25-22% (например, по варианту, осуществляемому в настоящее время на ОФ шахты "Трудовская").

Влажность угольных концентратов, как показатель их качества, в последние годы повышается, поскольку на целом ряде фабрик прекратилась эксплуатация термических сушильных установок ввиду их дороговизны, а эффективные средства механического обезвоживания (высокоскоростные центрифуги и др.) внедряются в недостаточных масштабах. Достигнутая экономия в углеобогащении при этом полностью скомпенсирована возросшими затратами на перевозки балластной влаги и снижением эффективности использования топлива при сжигании (коксовании).

### *Проблема научно-технического совершенствования углеобогащения*

Вхождение Украины в мировое сообщество углеобогащителей через полноценное участие в работе Международных конгрессов по обогащению углей (Австралия – 1998 г., ЮАР – 2002 г.) выявило отставание от зарубежной практики по ряду перспективных направлений:

- создание центрифуг с повышенной частотой вращения ротора;
- применение пневматических флотационных машин колонного типа;
- применение ленточных фильтр-прессов по типам "Андриц", "Парнаби" для

обезвоживания тонких шламов;

- использование для обогащения мелких классов угля тяжелосредних циклонов с безнапорной загрузкой по типу "Ларкодемс";
- производство высокочастотных обезвоживающих грохотов с обратным наклоном сита.

Для устранения зависимости от дорогостоящего импортного оборудования УкрНИИуглеобогащением проводятся соответствующие разработки. В опережение мировой практики созданы:

- ленточный вакуумный классификатор КЛ-10;
- автоматический золомер-регулятор со счетно-решающим устройством для управления шламовыми потоками;
- циклон-сепаратор ЦС 500/360 для обогащения мелких классов угля и антрацитов в водной среде;
- барабанный термогранулятор (в стадии обоснования);
- пылегазоуловитель ПГУ-30 абсорбционного типа.

Однако серьезным препятствием для новых разработок является отсутствие источников целевого финансирования, особенно при изготовления опытных образцов новой техники.

На стадии промышленного освоения уже созданных разработок отрицательно сказывается низкая покупательная способность обогатительных фабрик. По той же причине в крайне ограниченном объеме закупаются и лучшие зарубежные разработки. Фирмы и компании, арендующие обогатительные фабрики не проявляют заинтересованности в инвестировании научно-технических разработок общепромышленного назначения. В силу своей некомпетентности отдельные из них даже накладывают запрет на заключение фабриками договоров.

### *Проблема совершенствования нормативно-методической базы углеобогащения*

В рыночных условиях хозяйствования особое значение приобретает систематизированная информационная база о качестве, свойствах добываемых углей, их пригодности для эффективного использования. Этим обусловлены требования к развитию исследований по определению обогатимости, качества, марочной принадлежности углей, стандартизации, сертификации, их кодированию по международной системе.

С учетом происшедших за последние десятилетия изменений качественных характеристик углей, условий работы обогатительных фабрик, требований к товарной угольной продукции возникла настоятельная необходимость в коренном обновлении методик определения норм качества углей и продуктов обогащения. Требуют разработки и издания правила безопасности в углеобогащении как государственный документ Украины. С целью выполнения технико-экономических обоснований и анализа работы угольных предприятий необходимо восстановление или создание нового прейскуранта цен на угольную продукцию, не исключающего возможность применения договорных цен при взаиморасчетах.

Для упорядочения и обоснования технологических режимов обогащения углей определенного качества на каждом конкретном комплексе необходима разработка технологических регламентов по процессам и предприятию в целом. УкрНИИуглеобогащением такая работа выполняется выборочно по отдельным предприятиям, при этом подтверждается ее полезность для обеспечения оптимальных

показателей обогащения угля.

В Англии, Германии, России получает развитие технологический аудит углеобогачительных фабрик для выявления возможностей производства, установления и устранения сдерживающих причин с положительным влиянием, в конечном итоге, на показатели работы фабрик. Такая практика пристальное внимание и предприятия Украины.

### *Экологическая проблема*

Для условий Украины вопрос влияния углеобогащения на состояние окружающей среды особенно актуален, учитывая густую заселенность районов угледобычи, высокую засоренность добываемых углей породными примесями, значительный процент устаревших углеобогачительных фабрик и другие неблагоприятные в экологическом отношении условия.

В число первоочередных мер по улучшению экологии входит:

- повышение эффективности обогащения с целью уменьшения зольности товарного топлива (повышения полноты сгорания в топках) и снижения остаточного содержания горючих компонентов в отвальной породе и обводненных отходах;
- уменьшение и полное исключение жидких сбросов за пределы обогатительных фабрик путем создания схем с замкнутым циклом оборотного водоснабжения по типу фабрик "Чумаковская" и "Киевская";
- развитие работ по очистке илонакопителей с переобогащением хранящихся в них илов и высвобождением их емкости для повторного использования без отвода новых земельных площадей;
- создание и внедрение эффективных средств пылегазоочистки при сжигании углей, а также применение топок кипящего слоя, обеспечивающих более полное сжигание топлива и ограничение уноса продуктов горения в атмосферу.

Обращает на себя внимание взаимосвязь технических, экономических и экологических аспектов в постановке работ по совершенствованию технологии обогащения углей и применению для этой цели нового, прогрессивного оборудования. Поэтому необходимо еще раз подчеркнуть многоплановую актуальность вопроса инвестирования научно-технических разработок в области обогащения углей.

### *Выводы:*

1 Действующий фонд углеобогачительных фабрик Украины со значительным резервом позволяет обогащать не только объемы добываемого угля, но и намечаемого к добыче в 2010 г.

2 Для рационального использования фонда производственных мощностей углеобогащения необходимо совершенствовать систему распределения сырьевых ресурсов углей по оптимизационному принципу.

3 Целесообразно исключить из эксплуатации низкоэффективные обогатительные фабрики, бесперспективные в техническом отношении, увеличивать за счет этого загрузки фабрики с современной технологией и снизить удельные затраты на обогащение.

4 Перспективными и экономичными источниками увеличения ресурсов угольной продукции являются: уменьшение потерь угля с отходами обогащения за счет совершенствования технологии (годовой ресурс – 570 тыс. тонн) и вовлечение в переработку забалансовых шламов из илонакопителей (возможный прирост – 900-1200 тыс. тонн).

5 Для улучшения качества товарного топлива большинство обогатительных фабрик нуждается в совершенствовании технологии для охвата обогащением отсеков в

схемах с глубиной обогащения 6 и 13 мм, а также в техническом переоснащении с внедрением прогрессивных конструкций обогатительных аппаратов.

6 Повышение технического уровня углеобогатительных фабрик требует государственного подхода к инвестированию работ по созданию новой техники и льготному кредитованию фабрик на приобретение нового оборудования и модернизацию технологии.

7 Углеобогащение Украины нуждается в создании усовершенствованной системы нормативно-методического обеспечения, в частности:

- обновлении государственных стандартов;
- создании новых методик нормирования качества;
- издании правил безопасности;
- разработке прейскуранта базовых (расчетных) цен на угольную продукцию;
- повсеместном введении технологических регламентов;
- освоении практики технологического аудита обогатительных фабрик.

8 Для повышения технического уровня углеобогащения необходим единый государственный подход (независимо от имущественной принадлежности и административной подчиненности фабрик) в:

- в формировании сырьевых баз фабрик с оптимальным распределением угля;
- в обеспечении единой технической политики развития углеобогащения;
- в развитии нормативно-методической базы;
- в подготовке производственных кадров и повышении их квалификации;
- в соблюдении экологических требований;
- в развитии международных контактов и заимствовании лучшего зарубежного опыта.

Таблица 1

Сводные данные об углеобогатительных фабриках Украины					
Наименование	Единица измерения	Коксующиеся угли	Энергетические угли	Антрациты	Всего
<u>Общий фонд углеобогатительных фабрик</u>					
- количество	шт.	23	18	20	61
- суммарная мощность	тыс. т	64250	41920	41650	147820
В составе Минтопэнерго:					
- количество	—«—	13	11	19	43



## Общин вопросы технологи обогащения

- суммарная мощность	—«—	33500	18620	40450	92570
Арендные:					
- количество	—«—	8	7	1	16
- суммарная мощность	—«—	22050	23300	1200	46550
В составе коксохимических заводов:					
- количество	—«—	2	-	-	2
- суммарная мощность	—«—	8700	-	-	8700
Характеристика состава фабрик					
По производственной мощности:	шт.				
- менее 1500 тыс. т в год		1	8	12	21
- от 1500 до 3000		15	8	4	27
- от 3000 до 5000		5	1	2	8
- более 5000		1	2	2	5
По типу предприятия:	—«—				
- индивидуальные (при шахте)		-	4	-	4
- групповые		13	8	17	38
- центральные		8	6	3	17
- при КХЗ		2	-	-	2
По глубине обогащения (мм):	—«—				
13		-	7	1	8
6		-	3	14	17
0,5		-	3	-	3
0		23	5	5	33
По сроку службы (лет):	—«—				
менее 25		-	2	2	4
от 25 до 50		16	11	12	39
от 50 до 70		7	5	5	17
более 70		-	-	1	1
По сочетанию применяемых методов обогащения:	—«—				
- отсадка + флотация		14	1	2	17
- тяжелые среды + отсадка + флотация		9	2	1	12
- тяжелые среды + отсадка		-	4	7	11
- тяжелые среды (с отсевом)		-	4	3	7
- отсадка (с отсевом)		-	7	7	14
По степени износа основных фондов (%):	—«—				
- менее 50%		4	2	4	10
- от 50 до 70%		14	12	13	39
- более 70%		5	4	3	12
По загрузке производственных мощностей (%):	—«—				
- менее 20%		4	3	11	18
- от 20 до 50%		1	8	4	13
- от 50 до 80%		9	5	2	16
- более 80%		9	2	3	14

Таблица 2

### Показатели переработки углей на обогатительных фабриках за предшествующий год

Наименование	Единиц а измерен ия	Коксую щиеся угли	Энергет ические угли	Антрац иты	Всего
Добыча	тыс. т	39634,1	24210,6	17117,9	80962,6

## Общин вопросы технологи обогащения

Переработка на фабриках	тыс. т	39634,1	16850,6	17117,9	73662,6
В том числе:					
- на фабриках Минтопэнерго		17542,7	8687,7	16585,7	42816,1
- на арендных фабриках		17082,4	8222,9	532,2	25837,5
- на фабриках при КХЗ		5009,0	-	-	5009,0
Охват добытых углей переработкой	%	100,0	69,6	100,0	91,0
Зольность (по ОФ Минтопэнерго)	%				
добытых углей		37,2	40,1	35,8	37,8
товарных углей		8,2	19,9	17,9	16,4
отходов обогащения		73,3	74,6	74,5	73,8
Степень использования производственных мощностей фабрик		61,7	40,2	41,1	49,8
В том числе:					
ОФ Минтопэнерго		52,4	46,7	41,0	51,4

*Поступила в редколлегию:  
Рекомендована к печати*

УДК 622.778

**И.К. МЛАДЕЦКИЙ**, д-р техн. наук,  
**О.Г. ВОЛОБУЕВА**

## ОБОСНОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПОКАЗАТЕЛЯ РАСКРЫТИЯ ОТ СОДЕРЖАНИЯ ЦЕННОГО МИНЕРАЛА В ИСХОДНОМ ПРОДУКТЕ

Проведено обґрунтування залежності показника розкриття від вмісту цінного мінералу в первинному продукті. Встановлено, що функція  $R = f(\alpha_u)$  має екстремум, який розташовується в точці  $\alpha_e \approx 0,5$ .

**Ключові слова:** цінний мінерал, розкриття, відкриті рудні зерна, відкриті нерудні зерна, відкриті багаті сростки, відкриті бідні сростки, збіднений продукт, збагачений продукт.

Проведено обоснование зависимости показателя раскрытия от содержания ценного минерала в исходном продукте. Установлено, что функция  $R = f(\alpha_u)$  имеет экстремум, который располагается в точке  $\alpha_e \approx 0,5$ .

**Ключевые слова:** ценный минерал, раскрытие, открытые рудные зерна, открытые нерудные зерна, открытые богатые сростки, открытые бедные сростки, обогащенный продукт, обедненный продукт.

Понятие "раскрытие" еще недостаточно изучено, но большинство исследователей сходятся во мнении, что это понятие комплексное и его выражают некоторым множеством чисел, главным из которых является количество открытых рудных зерен в смеси ( $P_{pz}$ ).

Если  $P_{pz} \Rightarrow 0$ , то минерал не раскрыт, а если  $P_{pz}$  стремится к содержанию ценного минерала в исходном продукте  $\alpha_u$ , то раскрытие полное, т.е.  $P_{pz} = \alpha_u$ .

Если руду начать измельчать, то появятся сростки. У этих сростков содержание ценного минерала будет больше, чем в исходном продукте ( $\alpha_{pc} > \alpha_u$ ), а также появятся сростки с  $\alpha_{nc} < \alpha_u$ . И если такую смесь разделять, то будет получен обогащенный продукт, у которого содержание  $\alpha_{pc} > \alpha_u$  и обедненный продукт с  $\alpha_{nc} < \alpha_u$ , хотя при этом  $P_{pz} \Rightarrow 0$ . Это говорит о том, что показатель  $P_{pz}$  не является достаточно полной характеристикой раскрытия.

Функция распределения сростков может характеризоваться четырьмя величинами, т.е. содержанием: открытых рудных зерен  $P_{pz}$ ; открытых нерудных зерен  $P_{nz}$ ; открытых богатых сростков  $P_{pc}$ ; содержанием открытых бедных сростков  $P_{nc}$ , а раскрытие численно определяется как разность содержаний ценного компонента в богатой и бедной фракциях.

Исследования показали, когда , то это означает граничное значение, когда в смеси частиц имеются только сростки. Если , то появляются открытые рудные и нерудные зерна. Чем , тем больше открытой фракции, а поскольку количество

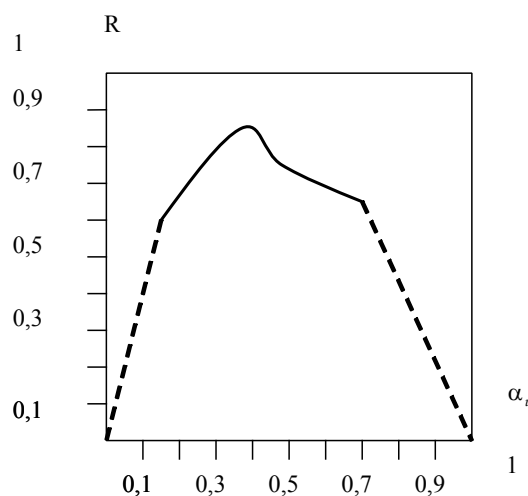
открытых зерен пропорционально  $\alpha_u$ , то, чем больше  $\alpha_u$ , тем больше раскрытие. Проверим это положение.

В работе [1] приведены все формулы, согласно которым были проведены вычислительные эксперименты и результаты зафиксированы в таблице.

Таблица

№ кривой	Содержание ценного минерала в исходном продукте, $\alpha_e$	Раскрытие, R
1	0,2	0,6
2	0,35	0,84
3	0,5	0,73
4	0,65	0,63

Оказалось, что зависимость  $R = f(\alpha_u)$  имеет экстремум. И если  $\alpha_u \Rightarrow 0$ , то естественно открытой богатой фракции будет мало, а бедной подавляющее большинство и тогда  $R = \alpha_b - \alpha_n \Rightarrow 0$ . Когда же  $\alpha_u \Rightarrow 1$ , то богатая фракция становится преобладающей и вопрос стоит о раскрытии нерудной фазы. Поэтому очень много открытой рудной фазы, а бедная имеет большое значение  $\alpha_n$ . В результате,  $R = \alpha_b - \alpha_n \Rightarrow 0$  и функция  $R = f(\alpha_u)$  имеет вид, как на рисунке.



Функция изменения раскрытия от содержания ценного компонента в исходном продукте

Экстремум располагается в окрестности точки  $\alpha_u = 0,5$ , а т.к. исследовали бинарную смесь, то возможно два исхода с известными вероятностями и поэтому закономерность

подчиняется биномиальному распределению, согласно которого начальное и конечное значения чего равны 0. Несимметричность зависит от закономерностей вкрапления компонентов, а это говорит о том, что теоретически нельзя получить абсолютно чистые хвосты и концентрат.

Список литературы

1.Младецкий И.К., Мостыка Ю.С. Аналитическое определение показателей раскрытия руд.- Днепропетровск: Системные технологии, 1999 - 106 с.

*Поступила в редколлегию  
Рекомендована к публикации*

УДК 541.183:622.33+622.693

**А.С. МАКАРОВ** д-р. техн. наук,  
**А.И. ЕГУРНОВ**, директор ГП "ГПКИ Гипромашобогашение",  
**В.А. ЗАВГОРОДНИЙ, А.Л. КОХАНЮК.**

### **Физико-химические и технологические основы получения высококонцентрированного водоугольного топлива.**

В огляді висвітлено фізико-хімічні та технологічні основи створення висококонцентрованого водовугільного палива.

**Ключові слова:** водовугільна суспензія, тверда фаза, дисперсійне середовище, в'язкість, стабілізація.

В обзоре освещены физико-химические и технологические основы получения высококонцентрированного водоугольного топлива.

**Ключевые слова:** водоугольная суспензия, твердая фаза,, дисперсионная среда, вязкость, стабилизация.

Производство тепловой и электрической энергии в Украине и в странах СНГ в значительной мере ориентировано на использование угля, природного газа и жидких нефтепродуктов. Помимо тепловых электростанций энергетика Украины – это тысячи котелен малой и средней мощности от 0,05 до 100 МВт, работающих на самых разнообразных видах топлива, начиная от природного газа и кончая окомкованным комбинированным топливом.

Как правило, теплогенерирующие установки малой энергетики являются экологически наименее чистыми объектами с очень низкой эффективностью использования топлива. Рост цен на газ и нефтепродукты в сочетании с ужесточением экологических требований к производству тепловой и электрической энергий, явились стимулирующим фактором в поисках новых теплоносителей. Одним из таких источников энергии является новое, более экологически чистое водоугольное топливо (ВУТ) – высококонцентрированная водоугольная суспензия (ВВУС), создаваемая на основе различных марок каменных энергетических углей и воды (природной, технической, промышленных стоков). [1-7].

В последние годы разработаны различные составы высококонцентрированного водоугольного топлива во многих странах – Японии, США, Италии, России, Китае, Украине [6-11]. Учитывая опыт первого в России экспериментального углепровода Белово-Новосибирск, подтвердившего что ВУТ легко может транспортироваться на большие расстояния по трубам (270 км), в Китае строился трубопровод для транспортирования ВУТ на расстояние 800 км. [8].

Вода в ВУТ является не балластом, а своеобразным катализатором, который улучшает

и ускоряет процесс горения, способствует более высокой полноте сгорания при меньшем расходе воздуха. При этом в продуктах сгорания значительно снижено количество сажи, оксидов азота, серы, монооксида углерода.

Возможная утечка и разлив ВУТ не вызывает негативных экологических последствий в отличие от последствий утечек нефти и нефтепродуктов [12].

Для приготовления ВУТ в качестве дисперсионной среды можно использовать промышленные отходы, например, отходы фармацевтической промышленности [13] или образующиеся в большом количестве при добыче угля шахтные воды, загрязненные угольнопородными частицами, бактериями и солями [14].

При массовой доле угля в суспензии 60-70% становится возможным сжигать ее непосредственно в котлоагрегатах без предварительного обезвоживания. Увеличение содержания угля в суспензии при сохранении ее текучести и стабильности свойств можно достигнуть, обеспечив оптимальный гранулометрический состав частичек дисперсной фазы и применив специальные химические добавки – пластификаторы и стабилизаторы.

Оптимально плотной упаковкой частичек твердой фазы в единице объема, является бимодальный характер их распределения по размерам с определенным соотношением крупной (100–250 мкм) и мелкой (<40 мкм) фракций [1,7]. При этом концентрацию мелкой фракции в твердой фазе суспензий целесообразно держать 30-40 масс. %. Верхний предел размеров крупной фракции не должен превышать 250-300 мкм, что определяется требованиями седиментационной устойчивости суспензии, а так же ограничениями, связанные с диаметром сопла в форсунке и режимом сжигания.

В зависимости от количества минеральной составляющей в угле и ее физико-химических свойств разработаны несколько технологий измельчения дробленого угля для достижения оптимального гранулометрического состава ВВУС [10,11].

Существенную роль в механохимических процессах, влияющих на интенсивность процесса помола углей, играют состав минеральных примесей и дисперсионная среда, в которой осуществляется помол. Например, наличие в жидкой фазе алкилсульфатов, алкилфенолов, алкилфосфатов, замедляет процесс помола угля симбатно числу атомов углерода в цепи. Снижение интенсивности помола, по-видимому, связано с тем, что, являясь хорошими смачивателями, указанные химические реагенты увеличивают сорбцию молекул воды угольными частицами, что приводит к набуханию последних и уменьшению их хрупкости [15], а также к снижению сил трения между частицами, играющих решающую роль в процессе диспергирования угля [16].

Многие химические добавки, например продукт поликонденсации β-нафталинсульфокислоты с формальдегидом (НФУ), гидроксид натрия (NaOH), лигносульфонат на натриевом основании (ЛСТ), сочетание ЛСТ с NaOH в соотношении 3:1 (ЛСУ), триполифосфат натрия (ТПФNa), приводят к интенсификации процессов механодеструкции [11,15] по связям C-O-, C-C-, C-H, и разрушению исходной структуры органических веществ угля. При механическом воздействии в присутствии щелочных компонентов происходят механохимические реакции, связанные с выделением в дисперсионную среду солей гуминовых кислот, которые впоследствии играют важную роль в разжижении и стабилизации ВВУС [4-7]. Ускорение процесса диспергирования сопровождается ростом величины контактной разности потенциалов (КРП), возникающей между исследуемым электродом (образцом) и эталонным платиновым электродом, образующими динамический конденсатор [4,11,17]. Возрастание потенциала поверхности частиц угля может указывать на эффективность разжижающего действия химических добавок в суспензиях [4].

Решение проблем устойчивости ВВУС и сохранение требуемых реологических характеристик при хранении и транспортировании, решается введением в систему специальных химических добавок.

Анализ патентной литературы показывает, что в качестве понизителей вязкости и стабилизаторов ВВУС используют практически все основные классы поверхностно-активных веществ, защитные коллоиды, полиэлектролиты, продукты переработки угля, а также многокомпонентные композиции [5,6]. Особую группу составляют защитные коллоиды, обладающие сильной стабилизирующей способностью, а часто и разжижающим действием. К ним относятся высокомолекулярные соединения, например, глюкозиды, природные полисахариды, лигносульфоновые кислоты и их соли, полиэферы и их производные и т.д.

Высокомолекулярные ПАВ адсорбируясь на поверхности частиц, образуя студнеобразный слой толщиной в десятки и сотни нанометров, обуславливают высокую стабильность дисперсных систем. Низкомолекулярные ПАВ, как правило, обеспечивают диспергирующие свойства, снижая межфазное натяжение. В зависимости от количества ПАВ в системе, они могут оказывать как агрегирующее, так и пептизирующее (стабилизирующее) действие. Таким образом, значительную роль при создании ВВУС с заданными свойствами играет выбор оптимальных концентраций добавок и соотношение компонентов комплексных композиций [2-5].

При использовании комплексных добавок, включающих стабилизатор и разжижитель, возможна различная последовательность введения компонентов. В ряде патентных публикаций предлагается сначала вводить понизитель вязкости, а затем стабилизатор. В других работах наоборот, сначала вводится стабилизатор, препятствующий агрегации твердых частиц, а затем реагент, обеспечивающий уменьшение трения между частицами.

Стабилизация грубодисперсных систем поверхностно-активными веществами, согласно П.А. Ребиндеру, обусловлена двумя основными факторами: во-первых, образованием на поверхности частиц суспензии двойного электрического слоя, создающего электростатическое отталкивание между частицами дисперсной фазы (электростатический фактор), и, во-вторых, созданием на поверхности частиц сольватных и адсорбционно-сольватных слоев, обладающих особой структурой и свойствами и приводящих к возникновению структурной (сольватной) составляющей расклинивающего давления (структурно-механический фактор).

При выборе сочетания двух или большего числа добавок для получения маловязких и устойчивых суспензий следует учитывать их влияние на гранулометрический состав суспензии в процессе помола, отдавая предпочтение тем из них, которые наряду со стабилизацией частиц, способствуют улучшению гранулометрического состава.

Эффективность действия того или иного химического реагента на водоугольные суспензии, определяется качеством угля (прежде всего зольностью, составом минеральной части, степенью окисленности, стадией метаморфизма), а также зависит от условий получения ВВУС, и химического состава водной среды. Химические добавки, дающие временный стабилизирующий и разжижающий эффект (порядка нескольких суток), можно успешно применять при создании ВВУС, которые непосредственно подвергаются сжиганию без длительного хранения и транспортирования.

Наиболее перспективными с точки зрения эффективности воздействия на водоугольные системы и с экономических позиций, являются добавки на основе технических лигносульфанатов (ЛСТ), гуматных реагентов (УЩР), полифосфатов и диспергатора НФУ [4]. Влияние указанных химических реагентов на характеристики

поверхности угля и реологические свойства ВВУС показаны в таблице.

Эффективность разжижающего и стабилизирующего действия лигно-сульфанатов, УЩР, НФУ, в значительной степени определяется широким диапазоном их молекулярной массы и функциональным составом. Низкомолекулярная фракция указанных реагентов обладает большим разжижающим эффектом, в то время как высокомолекулярная фракция стабилизирует водоугольные суспензии.

Триполифосфат натрия не имеет высокомолекулярной фракции, поэтому состав ВВУС на его основе не стабилен, но в сочетании с УЩР седиментационная устойчивость гидродисперсии угля повысилась и составила 20 суток (табл.).

Таблица

Наименование добавки к ВВУС (массовая доля добавки 1% на сухой уголь).	рН 20% -го раствора добавки	Характеристика поверхности угольных дисперсий		Реологические характеристики 62% ВВУС			Седиментационная устойчивость, суток
		Теплота смачив. водой, Дж/г	КРП мV	Эффективная вязкость, Па·с при $D=9c^{-1}$		Предельное напряжение сдвига, Па.	
				Свежеприготовленная	Через 5 суток		
Без добавки	—	10,55	71	8,74	—	24,0	0
ЛСТ <i>Na</i>	4,50	15,28	178	1,49	2,67	10,0	1,0
ЛСТ <i>Na</i>	7,75	15,83	196	0,90	1,98	4,0	2,0
ЛСТ <i>Na</i>	11,20	16,08	216	0,65	0,84	1,5	>30
ЛСТ <i>Ca</i>	11,20	14,95	102	2,04	5,18	12,0	20.0
ФХЛС	12,07	16,29	247	0,45	0,61	0,1	30.0
НФУ	7,14	16,62	267	1,20	1,43	6,9	>30
УЩР	9,05	15,16	107	1,93	4,93	11,4	3.0
ТПФ <i>Na</i>	10,05	16,37	288	0,38	0,53	0,3	0.1
УЩР + ТПФ <i>Na</i>	10,40	15,20	175	0,76	1,16	2,1	20.0

Технические лигносульфанаты обладают широким спектром распределения по молекулярной массе. Это делает указанную добавку до определенной степени универсальной. Перспективным является путь направленного модифицирования ЛСТ с целью увеличения его эффективности для получения суспензии с заданными свойствами [5,9]. Модифицирование лигносульфанатов проводят обычно по двум основным направлениям: первое — перевод лигносульфанатов в другое основание по валентности катиона; второе — введение в лигносульфоновый комплекс дополнительных



функциональных групп. При частичной или полной замене катиона натрия (табл.) на двухвалентные катионы  $Ca^{+2}$  и  $Mg^{+2}$  разжижающее действие ЛСТ на водоугольные суспензии значительно ослабляется. Это, возможно, связано с уменьшением растворимости лигносульфонового комплекса. Однако введение указанных выше катионов оказывает положительное влияние на повышение стабильности системы.

Особый интерес представляют лигносульфанаты, содержащие трехвалентные катионы хрома и железа, так называемые феррохром лигносульфанаты (ФХЛС), получаемые обработкой лигносульфовых кислот сернокислыми солями хрома и железа. Введение катионов  $Fe^{+3}$  и  $Cr^{+3}$  способствует увеличению молекулярной массы лигносульфанатов вследствие образования комплексов. ФХЛС обладают рядом преимуществ перед лигносульфатами кальция, алюминия, натрия. ФХЛС придает суспензии устойчивость в минерализованных средах при пониженной вязкости (табл.), что особенно важно при получении водоугольных композиций на шахтных водах. Кроме того, катионы хрома повышают термостойкость лигносульфанатов при приготовлении ВВУС способом мокрого измельчения. Изменяя соотношение между количествами железа и хрома, можно регулировать свойства реагента. При увеличении количества катионов хрома, ФХЛС приобретает в основном свойства понизителя вязкости, а при увеличении содержания катионов железа – свойства стабилизатора, понизителя водоотдачи.

Окисление лигносульфанатов приводит к повышению эффективности их действия как понизителя вязкости. Это связано с тем, что в процессе окисления молекулярные цепочки лигносульфанатов разрушаются, образуя активные кислородсодержащие группы, увеличивающие сорбционную активность лигносульфонового комплекса [18].

Установлено также существенное влияние pH растворов лигносульфанатов на реологические свойства ВВУС. Вязкость при всех скоростях сдвига и предельное напряжение сдвига уменьшаются с повышением pH раствора от 4,5 до 12 (табл.). Указанные изменения происходят, по-видимому, в результате деполимеризации (уменьшении молекулярной массы) лигносульфонового комплекса в щелочной среде [19]. Кроме того, щелочной гидролиз в условиях мягкого окисления позволяет видоизменять молекулы лигносульфанатов, придавать им более высокую поверхностную активность и диспергирующую способность. Модифицированные путем щелочного гидролиза лигносульфанаты содержат больше фенольных оксигрупп, а также карбоксильных групп [18], что способствует их адсорбции на поверхности минеральных частиц угля. Использование добавок в щелочных средах также благоприятно с точки зрения коррозионной защиты трубопроводов и оборудования.

Как уже упоминалось, способность действовать как понизители вязкости и стабилизаторы, обладают реагенты на основе гуминовых кислот. Вследствие низкой стоимости и доступности материалов, эти реагенты быстро получили широкое распространение. Эффективность действия этих добавок на водоугольные суспензии описана как в научной, так и в патентной литературе [4].

Гуминовые кислоты представляют собой смесь органических коллоидных веществ с конденсированными ароматическими ядрами, имеющими боковые цепи и различные функциональные группы (карбоксильные, карбонильные, фенильные, метоксильные и др.). В боковой цепи глюкозидной связью присоединен углеводородный комплекс и амидной связью – аминокислотный комплекс. Основные структурные единицы молекулы гуминовых кислот соединены между собой простыми эфирными связями, которые могут быть гидролизованы [18]. Гуминовые кислоты являются высокомолекулярными соединениями с молекулярной массой 4000-8500. Молекулы гуминовых кислот склонны к

ассоциации за счет образования водородных связей (мостиков) и за счет ван-дер-ваальсовского взаимодействия их ароматических колец с увеличением молекулярной массы до 30000-40000. Ассоциация гуминовых кислот возрастает с повышением концентрации электролитов в растворе.

При низких значениях рН гуминовые кислоты ассоциированы в крупные мицеллы, имеющие симметричное строение с гидрофильной наружной оболочкой. Адсорбция гуминовых кислот на твердой поверхности при всех концентрациях электролита осуществляется мономицеллярно.

Укрупнение молекул гуминовых кислот является причиной снижения их активности в малощелочных и минерализованных системах.

В щелочной среде медленная диффузия ионов  $OH^-$  внутрь мицеллы приводит к последовательному разрушению мицелл гумата до отдельных ионов. Установлено [18], что при повышении рН до 10 происходит полное диспергирование гуминовых кислот и повышение их сорбционной активности.

Гуминовые кислоты способны также к обменным реакциям катионов, причем обменная емкость гуматов (натриевых солей гуминовых кислот) растет с увеличением рН. Нецелесообразно применение гуматов при наличии в системе поливалентных катионов, так как происходит резкое уменьшение растворимости гуматов и выпадение их в осадок с образованием твердообразных структурированных солей.

В водоугольных суспензиях растворы гуматов натрия адсорбируются на поверхности угольных частиц и минеральной составляющей. Адсорбция вызывается водородными связями, а также частично носит ионообменный характер. Адсорбируясь на поверхности частиц дисперсной фазы, гуматы подобно лигносульфанатам и полифосфатам образуют сольватный слой, при этом увеличиваются теплоты смачивания и поверхностный потенциал частиц (рис. 1,2), обеспечивая, тем самым, структурно-механический и электростатический фактор устойчивости [4].

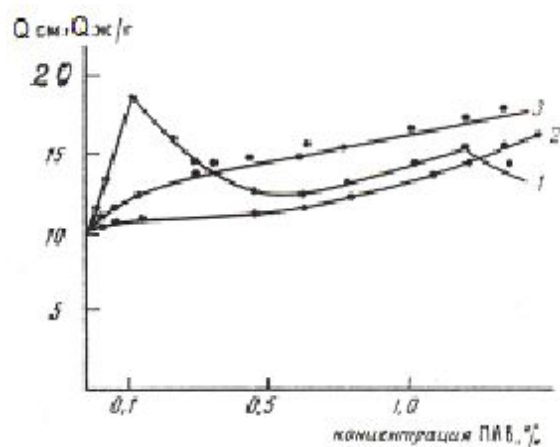


Рис. 1. Зависимость теплот смачивания поверхности угля водой от концентрации введенной добавки ПАВ: 1-ЛСТ; 2-УЩР; 3-ТПФ.

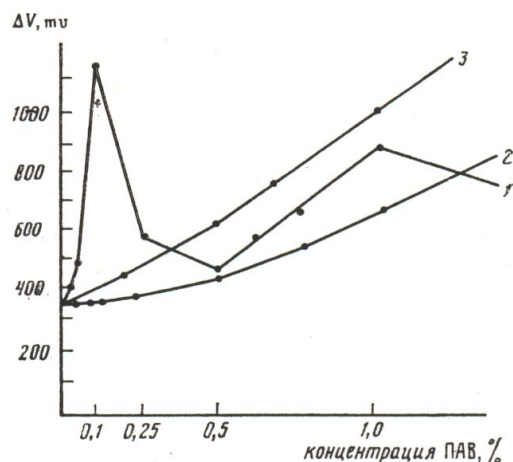


Рис. 2. Зависимость потенциала поверхности угля (КРП) от концентрации введенной добавки ПАВ: 1-ЛСТ; 2-УЩР; 3-ТПФ.

К числу химических реагентов на основе гуминовых кислот относятся углещелочной реагент (УЩР) и торфощелочной реагент (ТЩР). Качество этих реагентов зависит от содержания гуминовых веществ в исходном материале, а также степени их извлечения щелочью.

Одним из перспективных классов разжижителей и интенсификаторов помола высококонцентрированных водоугольных суспензий являются конденсированные фосфаты. Конденсированные или молекулярно обезвоженные фосфаты представляют собой соли полифосфорных кислот после удаления молекулярной (химически связанной) воды; при этом получают две обезвоженные формы: метафосфаты и пирофосфаты. При взаимодействиях мета- и пирофосфатов получают полифосфаты [19].

В зависимости от соотношения между  $Na_2O$  и  $P_2O_5$  при медленном охлаждении могут быть получены полифосфаты, имеющие цепочечную или кольцевую кристаллические структуры.

Производство полифосфатов несложно. При любом методе основным является удаление молекулярной воды. Фосфаты характеризуются отношением  $Na_2O/P_2O_5$ , которое имеет величины от 0,9 до 2,0. С увеличением отношения  $Na_2O/P_2O_5$  повышается активность фосфатов, как понизителей вязкости. Из группы пирофосфатов лучшими свойствами разжижителей обладают четырехзамещенный пирофосфат натрия  $Na_4P_2O_7$  и кислый пирофосфат натрия  $Na_2H_2P_2O_7$ .

Из мета- и пирофосфатов, взятых в различных соотношениях при различной температуре в течение некоторого времени можно получить комплексные полифосфаты, химический состав которых отвечает различным формулам, в которых количество атомов фосфата постепенно возрастает. Состав этих фосфатов характеризуется общей формулой  $Na_{n+2}P_nO_{3n+1}$ . Типичными представителями этого класса соединений являются триполифосфат натрия  $Na_5P_3O_{10}$  и тетраполифосфат натрия  $Na_6P_4O_{13}$ .

В водных растворах конденсированные фосфаты гидролизуются и частично теряют свои свойства понизителей вязкости. Однако, скорость гидролиза в нормальных условиях при низкой температуре и высоком pH чрезвычайно низка. С увеличением температуры до 80-100 °C скорость гидролиза возрастает почти в миллион раз. Скорость гидролиза фосфатов также значительно возрастает в суспензиях, что связано с химическим взаимодействием между частицами твердой фазы (особенно минеральной составляющей) и фосфатами. Ионы водорода являются катализаторами гидролиза, поэтому фосфаты целесообразно применять в щелочных растворах. В присутствии поливалентных катионов выпадают нерастворимые осадки солей. Снижение вязкости дисперсных систем фосфатами связано с блокированием активных участков поверхности дисперсной фазы и повышением потенциала поверхности частиц [4].

Сложность применения фосфатов в водоугольных суспензиях связана прежде всего с тем, что фосфаты не в состоянии обеспечить седиментационную устойчивость системы, так как они обладают способностью предотвращать образование коагуляционной структуры глинистой составляющей. Адсорбируясь на выступающих краях частиц, они предотвращают притяжение между ними, обусловленное силами свободных валентностей. Кроме того, при наличии высокого содержания минеральной составляющей, повышается вероятность гидролиза полифосфатов.

Однако, несмотря на эти ограничения, применение фосфатов весьма перспективно, особенно в случае приготовления ВВУС на основе малозольных углей, а также в составе комплексных химических добавок.

Таким образом, эффективность действия добавок на водоугольные суспензии в достаточной степени определяется их способностью изменять поверхностные свойства дисперсной фазы ВВУС (гидрофильность, поверхностный потенциал (рис. 1,2)). Именно эти величины могут служить одними из критериев выбора добавок при приготовлении высоко концентрированных водоугольных суспензий. Однако, выбор той или иной

добавки и способ ее применения в каждом конкретном случае определяется целым рядом факторов и прежде всего зависит от марки угля, зольности и технологии приготовления ВВУС.

Следует отметить, что на основе ЛСТ, УЩР, ТПФ *Na* и других реагентов можно разработать более эффективные комплексные добавки позволяющие получать ВВУС с концентрацией угля на несколько процентов выше, чем с индивидуальными добавками [5]. Нами установлены области ингредиентов трехкомпонентных составов добавок, в которых достигается их устойчивое синергетическое действие на уменьшение вязкости ВВУС. При этом отмечен также повышенный уровень теплот смачивания и контактной разности потенциалов угольной дисперсии [5].

В экономическом плане представляется целесообразным для рационального использования энергетических ресурсов применять ВУТ вместо сжигания дефицитного топливного мазута, газа, а в перспективе, в качестве моторного топлива для дизелей, над чем усиленно работают зарубежные фирмы, т.к. запасы нефти, по сравнению с запасом угля, ограничены.

Несмотря на уменьшение добычи угля, в угледобывающих регионах Украины сохраняется сложившаяся неудовлетворительная экологическая ситуация. Одна из причин, это накопленное большое количество угольных шламов, которые являются постоянно действующим источником загрязнения окружающей среды. Учитывая, что шламы содержат до 50% горючего материала, наиболее перспективным направлением утилизации, (не требующим сушки) может быть получение на его основе низкосортного жидкого топлива по аналогии с водоугольным топливом со всеми его преимуществами – полнотой сгорания, уменьшением выбросов оксидов азота, серы и монооксида углерода.

В связи с изложенным, нами проведены исследования, которые показали, что применяемые при получении ВВУС химические реагенты, играющие роль пластификаторов, стабилизаторов pH среды, при определенной технологии, вполне применимы для получения ВУТ с необходимыми реологическими свойствами и высокой концентрацией твердой фазы на основе угольных шламов.

Учитывая сравнительно малое содержание горючих веществ в ВУТ на основе шламов, его необходимо производить с массовой долей твердого не менее 65-70%. Переоборудование существующих котлов на сжигание ВУТ не требует замены теплоагрегатов. При сжигании в них водоугольного топлива на основе шлама возможно параллельное горение разных систем при переводе не всех горелок на углешламовые гидродисперсии. Несмотря на пониженную калорийность, использование ВУТ на основе шламов, является целесообразным в экономическом и экологическом аспектах.

### Список литературы

1. **Олофинский Е. П.** Исследования гидромеханики трубопроводного транспортирования суспензии. – М.: ВНИИПИ гидротрубопровод, 1985.-с. 4-8.
2. Заявка 58-27795 Япония, МКИ С 10 L 5/00 L 1/32. Приготовление водоугольной суспензии с желаемой вязкостью /**М.Канэру, А.Хисинума, К.Рюити** и др. – Оpubл. 18.02.03
3. Пат. 1559693 А1 Украина, С 10 L 1/32. Спосіб одержання водовугільної суспензії та пристрій для його здійснення /**Завгородній В.А., Дегтяренко Т.Д., Макаров А.С.** і др. Заявл. 29.08.88 Оpubл. 30.09.96 Бюл.№3.
4. **Макаров А.С., Дегтяренко Т.Д., Олофинский Е.П.** и др. Влияние добавок ПАВ на свойства высококонцентрированных водоугольных суспензий для магистрального гидротранспорта. //ХТТ. 1987. – №3 – с. 26-29.
5. **Васильев В.В., Дегтяренко Т.Д., Макаров А.С.** и др. Влияние различных добавок на реологические характеристики высококонцентрированных водоугольных суспензий. //ХТТ – 1988 – №2 –

с. 123-127.

6. Кучер Р.В., Тітов Е.В., Урьев Н.Б. і др. Хімічні стабілізатори і пластифікатори висококонцентрованих водовугільних суспензій. //Вісник АНУССР. – 1988. – №1 – с. 41-50.
7. Макаров А.С., Олофінський Е.П., Дегтяренко Т.Д. Фізико-хімічні основи одержання висококонцентрованих водовугільних суспензій //Вісн. АН УРСР, 1989, №2 – с. 66-75.
8. Хілько С.Л., Тітов Е.В., Башкатова І.М., Попов А.Ф. Перспективи використання колоїдного палива в енергетиці. Хім. промисл. України, – 1999 – №4 – с. 7-12.
9. Дегтяренко Т.Д., Заргородний В.А., Васильев В.В., Макаров А.С. Свойства высококонцентрированных водоугольных суспензий с добавкой лигносульфоната и щелочного компонента. //ХТТ – 1988 – №3 – с. 81-86.
10. Пат. 1545606 А1 Україна, С 10 L 1/32. Добавка до водовугільної суспензії /Зав городній В.А., Макаров А.С., Дегтяренко Т.Д. і др. Заявл. 03.03.88 Опубл. 30.09.96 Бюл. №3.
11. Дегтяренко Т.Д., Завгородний В.А., Макаров А.С., Гамера А.В. Особенности получения высококонцентрированных водоугольных суспензий из малозольных углей. //ХТТ – 1989 – №5 – с. 99-103.
12. Мурко В.И., Корочкин Г.К., Горлов Е.Г., и др. Экологические аспекты приготовления и транспорта водоугольных суспензий. //ХТТ – 1999 – №1 – с. 81-87
13. Макаров А.С., Гамера А.В., Борук С.Д., Завгородний В.А. Использование промышленных сточных вод при получении водоугольного топлива. /ж. Химия и техн. воды, 2002, т.24, №5 – с. 440-446.
14. Красавин А.П. Защита окружающей среды в угольной промышленности. – М.: Недра. 1991-221с.
15. Щукин Е.Д., Конторович С.И., Бессонов А.И. и др. Влияние жидкой среды на прочность и диспергируемость угля. //Коллоид.журн. – 1987. – №4 – с. 728-737.
16. Фейгин Л.А., Рожанский. О возможности полного рентгенографического дисперсионного анализа графитовых порошков и коллоидных препаратов. //Докл. АН СССР. 1957. Т.113 №5. – с. 1102-1105.
17. Руди В.П., Орыняк М.В., Смокоржевский А.В. и др. Исследование поверхностного потенциала бисчетвертичных аммониевых солей на границе фаз раствор-воздух. //Коллоид. журн. 1984 Т.46 №5 – с. 951-954.
18. Чудаков М.И. Промышленное использование лигнина. – М.: Лесн. промышленность – 1983 – с. 200
19. Паус К.Ф. Буровые промывочные жидкости. – М.: Лесн. промышленность – 1981 – 203 с.

*Поступила в редколлегию  
Рекомендована к публикации*

УДК 622.271.63

**В.Ю. КУХАРЬ**

### **КРИТЕРИЙ ПОДОБИЯ ФИЛЬТРАЦИОННОГО ПОТОКА, ОБРАЗОВАННОГО В ГРУНТЕ ВОДЯНОЙ СТРУЕЙ**

Визначено критерій подібності об'ємного фільтраційного потоку, який створений при поширенні у водонаповнений пухкий ґрунт турбулентного осьосиметричного водяного струменя.

**Ключові слова:** критерій подібності, розмив ґрунту, фільтраційний потік, піддонна зона розмиву.

Определен критерий подобия объемного фильтрационного потока, образованного при распространении в водонаполненный несвязный грунт турбулентной осесимметричной водяной струи.

**Ключевые слова:** критерий подобия, размыв грунта, фильтрационный поток, поддонная зона размыва.

Проведенные на лабораторной установке экспериментальные исследования

позволили установить зависимости формы и размеров зоны размыва от начальных параметров турбулентной затопленной наклонной осесимметричной водяной струи [1]. Для использования полученных результатов в реальных условиях следует определить критерии подобия.

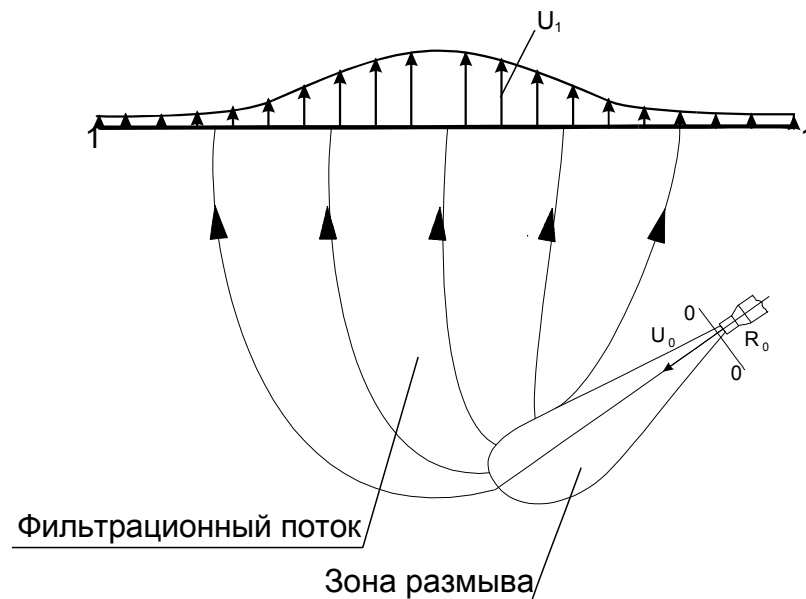


Рисунок 1 – Схема фильтрационного потока из поддонной зоны размыва

Схема фильтрационного потока из поддонной зоны размыва

В результате взаимодействия струи с грунтом образуется зона размыва такого размера, при котором на ее границах устанавливается скорость, равная размывающей. Процесс взаимодействия струи с массивом, при котором возникли такие условия, является установившимся.

В пределах зоны размыва (рисунок) частицы грунта находились под совместным действием скоростного напора потока воды и силы тяжести. При этом частицы были постоянно во взвешенном состоянии и упорядоченно перемещались с потоками воды. В нижней части зоны размыва частицы грунта перемещались вместе со струей в направлении от форсунки к максимально удаленной от нее зоне, расположенной по геометрической оси форсунки. Там частицы грунта и поток воды изменяли направление движения и двигались в обратном направлении над струей, образуя четкую границу встречных потоков. В результате рассмотрения силового взаимодействия струи и грунта были установлены критерии подобия для характерных участков поддонной зоны размыва [2]. Избыток воды в зоне размыва получал выход на поверхность грунта посредством направленного вверх от зоны размыва фильтрационного потока. При градиенте фильтрационного потока  $J$ , его скорости  $U$ , меньше критической  $J_{кр}$ , и  $U_{кр} = U_{разр}$  избыток воды выходил на поверхность

грунта без его размыва. При  $J > J_{кр}$  и  $U > U_{кр}$  происходило нарушение сплошности грунта [3] с образованием в его массиве грунта "канала" – грифона [4], по которому частицы грунта потоком воды выносились на донную поверхность. При установившемся процессе размыва грунта существовало динамическое постоянство характерных поперечных размеров грифона в каждом из его горизонтальных сечений. Это позволило предположить, что осредненные по сечению скорости потока пульпы при постоянном начальном расходе струи также являются постоянными величинами.

Рассмотрим процесс силового взаимодействия струи с размываемым массивом грунта с образованием замкнутой зоны размыва и фильтрационного потока. Применительно к затопленной струе теорему о количестве движения для секундной массы несжимаемой жидкости в сечениях 0-0 и 1-1 можно представить в следующем виде

$$\int_0^{m_0} U_0 dm_0 = \int_0^{m_1} U_1 dm_1 + I_1$$

где  $U$  – скорость струи в данном сечении;  $m$  – масса потока, проходящего через данное сечение;  $I_1$  – потери импульса в сечении 1-1, характеризующие потерю кинетической энергии на отрыв частиц от массива, на вязкое трение при поперечных перемещениях масс в теле струи и при фильтрационном течении.

Имеем

$$\int_0^m U dm = \int_0^t \rho U Q dt = \int_0^t \rho U dF U dt = \rho F U^2 \int_0^t dt = \rho F U^2 t \quad (1)$$

Согласно закону неразрывности потока жидкости расходы воды в сечениях 0-0 и 1-1 равны между собой. Тогда площадь выхода фильтрационного потока на донную поверхность определяется формулой:

$$F = \frac{Q}{U_1} \cdot \frac{1}{p} = \frac{\pi R_0^2 U_0}{U_1} \cdot \frac{1}{p}, \quad (2)$$

где  $p$  – пористость грунта;  $R_0$  – начальный радиус струи;  $U_0$  – скорость струи в начальном сечении;  $U_1$  – средняя по площади сечения 1-1 скорость фильтрационного потока.

Размыв грунта восходящим фильтрационным потоком не происходит, если сила гидродинамического давления, оказываемого на частицы грунта фильтрационным потоком не превышает веса частиц в воде. Скорость потока в сечении 1-1, удовлетворяющая этому условию, определяется как [4]:

$$U_1 \leq \frac{g(\rho_n - \rho_0)}{36\rho_0} \cdot \frac{d_{90}^2}{v_n}, \quad (3)$$

где  $\rho_n$  – плотность частиц грунта;  $d_{90}$  – диаметр частиц грунта, которых меньше по массе в грунте содержится 90 %, м.

С учетом выражения (2) запишем теорему об изменении количества движения в сечениях 0-0 и 1-1 за единицу времени в следующем виде:

$$\text{Подставив (3) в (4) и проведя математические преобразования с сохранением} \quad (4)$$

равенства размерностей в обеих частях уравнения получим:

$$\pi \rho_0 U_0^2 R^2 = \frac{\pi R_0^2 U_0}{p} \cdot \frac{g(\rho_n - \rho_0) d_{90}^2}{36 \nu_n} + I_1 \quad (5)$$

Преобразуем зависимость (5), и запишем:

$$\pi \rho_0 U_0^2 R^2 = \frac{\pi R_0^2 g(\rho_n - \rho_0) d_{90}}{36} \cdot \text{Re} + I_1$$

$$\frac{U_0 d_{90}}{\nu_n} = \text{Re}$$

где  $\frac{U_0 d_{90}}{\nu_n}$  – число Рейнольдса.

После соответствующих преобразований получим зависимость для определения потерь импульса на отрыв частиц грунта от массива, на вязкое трение при поперечных перемещениях масс в теле струи и при фильтрационном течении:

$$I_1 = \pi \rho_0 U_0^2 R^2 - \frac{\pi R_0^2 g(\rho_n - \rho_0) d_{90}}{36} \cdot \text{Re}$$

Таким образом, проведенные теоретические исследования показывают, что процесс распространения струи жидкости в несвязную однородную среду и образующийся при этом фильтрационный поток можно моделировать посредством критерия Рейнольдса.

#### Список литературы

1. **Кухарь В.Ю.** Гидродинамика процесса поддонного гидроразмыва несвязных полезных ископаемых//Обогащения корисних копалин: Наук.-техн. зб. –2002. - Вып. 15(56). – С.109 – 116.
2. **Бондаренко А.А., Кухарь В.Ю.** Критерии подобия в наклонной турбулентной струе. // Тез. докл. на Междунар. науч.-техн. конф. "Форум горняков-2003", Национальный горный университет. – Днепропетровск, 2003г.
3. Гидротехнические сооружения: Справочник проектировщика. Под ред. В.П. Недриги -М.:Стройиздат.-1983.-543с.
4. **Истомина В.С.** Фильтрационная устойчивость грунтов.-М.:Стройиздат.-1957.-295с.

Поступила в редколлегию 27.04.2004  
Рекомендована к публикации

УДК 622.7

**Е.Ю. Светкина**, канд. хим. наук,  
**В.П. Франчук**, д-р техн.наук

#### ПРИМЕНЕНИЕ ВИБРОУДАРНОЙ АКТИВАЦИИ УГЛЕЙ ПРИ ПОДГОТОВКЕ К ВОДОУГОЛЬНЫМ СУСПЕЗИЯМ

Розглянуто процес віброударного навантаження вугілля.

**Ключові слова:** вібронавантаження, вугілля, водовугільна суспензія, механоактивація.

Рассмотрен процесс виброударного нагружения угля.

**Ключевые слова:** вибронагружение, уголь, водугольная суспензия, механоактивация.



Получение различного рода дисперсных структур при подготовке сырья, в частности, к процессу обогащения путем флотации определяется прочностью коагуляционных структур, устойчивостью неньютоновских систем, кинетическими особенностями долговечности пространственных каркасов и термодинамикой процессов возникновения, развития и реализации меж- и надмолекулярных взаимодействий в коагуляционном, коагуляционно-конденсационном и кристаллизационном состояниях. Эти вопросы имеют чрезвычайно важное значение в разработке общих качественных и количественных закономерностей формирования огромного множества минеральных дисперсий и систем на их основе.

Образующиеся структуры отличаются следующими особенностями в зависимости от агрегатного состояния:

1. Кристаллизационные структуры характеризуются упругохрупкими характеристиками, зависящими от свойств самих элементарных частиц, образующих пространственную сетку. К таким характеристикам относятся пластические показатели – способность к большим остаточным деформациям без разрушения сплошности, а также эластические параметры, определяющие восстановление больших по величине деформаций.

2. Коагуляционные структуры характеризуются пластично-вязкими и эластическими свойствами, которыми описываются не только состоянием частиц, участвующих в формировании структуры, но и характером, особенностями коагуляционных связей, ответственных за построение пространственного каркаса, т.к. в коагуляционной структуре частицы связаны между собой ван-дер-ваальсовскими силами через тонкие остаточные прослойки жидкой (водной) среды. Наличие таких прослоек облегчает процесс уплотнения. Постепенное удаление воды с больших площадок контакта обеспечивает сближение частиц по ним и вызывает значительное повышение прочности.

Как известно, при виброударном диспергировании углей происходит разрыв валентных связей – механодеструкция. Возникающие при этом новые атомные группировки связаны с разрушением углерод-кислородных и углерод-углеродных связей. Происходит переалкилирование конденсированных ароматических ядер, образование летучих веществ и растворимых продуктов, источником которых могут служить концевые группы и деструктурированные фрагменты структуры угля.

Цель работы – представить картину изменений, происходящих в органической массе угля (ОМУ) под действием виброударного нагружения, а также стабилизацию углей при подготовке водоугольных суспензий (ВУС). Объектами исследования были каменные угли различной степени метаморфизма (Д, Г, Ж, К, ОС, Т) и остаточный уголь (ОУ) марки Ж. Последний получен путем исчерпывающей экстракции хлороформом угля Ж и представляет собой углеводородный каркас ОМУ, из которого путем экстракции удалена "подвижная молекулярная фаза".

Виброударную активацию углей проводили в лабораторной вертикальной вибрационной мельнице (ВВМ). Отличительной их особенностью от мельниц других типов является то, что помольные камеры совершают колебательные движения по прямолинейной траектории в вертикальной плоскости. Такие параметры обеспечивают преимущественно виброударное воздействие на разрушаемый материал с проникновением зоны деформации на весь объем частицы. Износ шаров при этом незначительный и происходит равномерно по всей поверхности с сохранением сферической формы. Проведенные исследования показали, что данный вид движения позволяет реализовать более высокую энергонапряженность технологической загрузки.

Эксперименты по измельчению исследуемых материалов проводились в непрерывном и периодическом режимах, для чего использовались помольные камеры разной конструкции:

1. В непрерывном режиме материал из бункера-питателя поступает в помольную камеру, проходит через нее путь  $L$  и далее направляется в бункер-приемник. Величина  $L$  определяется высотой помольной камеры и количеством пропусков через нее материала. В данной работе использовалась стальная камера, а мелющими телами служили шары из стали ШХ15. Материал пропусклся через помольную камеру определенное количество раз для набора пути измельчения  $L$ , равного 1,2 и 3 м.

2. В периодическом режиме навеска материала засыпается в камеру, герметически закрывается в ней и измельчается заданное время. При этом фиксируется масса порции измельчаемого материала  $m_m$ , ее отношение к массе шаров  $m_m/m_{ш}$ , время измельчения  $t$ .

Интенсивность подвода механической энергии составляла 2 Вт/г. Изменение структуры и свойств угля изучали методами ИК-спектроскопии, химического функционального анализа, а также с помощью определения потенциометрических характеристик углей, которые зависят от функциональных групп. При исследовании углей разной стадии метаморфизма после виброударной активации в двух режимах проведена оценка энергетического выхода механодеструкции ОМУ по углерод-кислородным и углерод-углеродным связям. По ходу виброударного нагружения определяли содержание функциональных групп ( $K^I$ ) на поверхности углей согласно методике [1].

После виброударного нагружения в периодическом режиме углей разной стадии метаморфизма была определена оценка энергетического выхода механодеструкции ОМУ по углерод-кислородным и углерод-углеродным связям.

Связь между виброударным активированием материала и энергетическим выходом проводилась по формуле [2]:

$$G = W / I,$$

где  $G$  – энергетический выход моль/МДж;  $W$  – количество продукта, образующегося в единицу времени на 1 кг измельчаемого продукта, моль/(кг·с);  $I$  – энергонапряженность аппарата, МВт/кг.

Данные приведены в табл. 1.

Таблица 1  
Процесс деструкции угля при виброударном нагружении

Процесс деструкции	Марка угля					
	Д	Г	Ж	К	ОС	Т
По связи C-C	0,04	0,43	0,19	0,09	0,1	0,11
По связи C-O	0,12	0,12	0,10	0,08	–	0,03

Энергетический выход механохимических превращений органических веществ угля зависит от стадии метаморфизма. Величина деструкции по C-C-связям максимальна для углей средней стадии метаморфизма.

Изучены изменения фрагментов структуры и молекулярная масса структурной единицы остаточного угля – углеводородного каркаса угля средней стадии метаморфизма (марки Ж) после виброударного воздействия в МВВ. Рентгенографические исследования показали, что при увеличении дозы механического воздействия от 0,6 до 1,2 МДж/кг после извлечения вновь появившихся растворимых продуктов, размер слоя, высота кластера, число ассоциированных в нем слоев и расстояние между ними уменьшалось, а

увеличивались период  $\gamma$ -полосы и ее площадь. Наблюдалось уменьшение массы как ароматического диска, так и структурной единицы в целом. При механическом воздействии дозой 2,4 МДж/кг происходили процессы структурирования: возрастание размера слоя, высоты кластера и массы структурной единицы.

Анализ экспериментальных данных свидетельствует о разрыве мостиковых  $-CH_2-$  и  $-CH_2-CH_2-$  связей между конденсированными ароматическими фрагментами в слое и об образовании  $-CH_3$ -групп (период  $\gamma$ -полосы – 4,44-4,70Å). Установлено уменьшение молекулярной массы структурной единицы остаточного угля от 700 до 440 а.е.м., связанное с процессами деструкции метиленовых мостиков при изменении режимов виброударного нагружения.

Интерес представляет тот факт, что при виброударной активации материалов повышается адсорбционная способность измельченных частиц. В связи с этим были проведены опыты по определению изотерм адсорбции активированных углей.

В табл. 2 представлены значения электрокинетического потенциала  $\Delta\xi_{max}$  от времени виброударного воздействия.

Таблица 2

Изменение электрокинетического потенциала после виброударной активации угля					
$\Delta\xi_{max}$ , мВ	0	3,2	4,1	3,9	3,5
Время нагружения, мин	0	10	20	30	40

Таким образом, результаты экспериментальных данных показывают, что виброударное нагружение приводит к сжатию двойного электрического слоя, т.е. переходу катионов из диффузионного слоя в адсорбционный. Снижение

$\xi$ -потенциала оказывает существенное влияние на гидратированность угольных частиц.

Регулирование электрокинетическим потенциалом частиц дисперсной фазы за счет различных режимов виброударного нагружения при подготовке угля и в процессе приготовления водоугольных суспензий (ВУС) позволяет повысить устойчивость и улучшить реологические характеристики конечного продукта. Эффективность виброударного воздействия на свойства поверхности твердой фазы ВУС определяется, прежде всего, характеристиками угля (зольность, состав минеральной части, степень окисления поверхности, стадия метаморфизма), а также условиями получения системы (температура, состав воды и др.).

Введение экспериментальных образцов, активированных методом виброударного нагружения, в водоугольную систему приводит к изменению поверхностного заряда частиц дисперсной фазы за счет виброударной активации, а также за счет агрегации или повышенной адсорбционной способности активированных частиц. В таких случаях разделение различных вкладов  $\xi$ -потенциала необходимо проводить исходя из гранулометрического состава и потенциометрических характеристик исследуемых суспензий.

Результаты – в табл. 3.

Таблица 3  
Характеристика суспензий

Образец	Режим измельчения	$\xi$ -потенциал поверхности частиц, мВ	Массовая доля твердого, %	Эффективная вязкость со скоростью сдвига, $\text{с}^{-1}$ . Па·с	Седиментационная устойчивость, сутки
Уголь	—	-43	60,0	3,12	0,06
-«-	Периодический, 10 мин	-40	60,1	1,93	0,1
-«-	Периодический, 20 мин	-36	60,1	1,58	0,1
-«-	Непрерывный L= 1м	-39	60,2	1,86	0,1
-«-	Непрерывный L= 2м	-25	60,2	1,16	0,1

Из табл. 3 видно, что величина  $\xi$ -потенциала частиц угля в непрерывном и периодическом режимах падает, причем действие непрерывного виброударного режима проявляется сильнее. Это обусловлено тем, что при виброударной активации происходит смещение плоскости скольжения вглубь раствора.

*Выводы:*

1. Проведенные исследования подтвердили, что устойчивость и реологические характеристики водоугольных суспензий связаны с различными режимами измельчения и в связи с этим – наличием двойных электрических слоев у поверхности частиц.

2. Считаю перспективным приготовление водоугольных суспензий при измельчении угля в водной среде или добавлении определенного количества воды в непрерывном режиме виброударной активации.

**Список литературы**

1. **ГОСТ 8930-79.** Угли каменные. Методы определения окисленности. – Введен 01.07.80. – М.: Изд-во стандартов, 1980 – 10 с.
2. Энергетические выходы в условиях высокого давления и деформации сдвига / Н.Г. Даниелян, А.Р. Торосян и др. // Сб. науч. тр. Механохимический синтез в неорганической химии. – Новосибирск: Наука. Сиб. отделение, 1991. – С.56-59.

*Поступила в редколлегию  
Рекомендована к публикации*